

CARACTERIZACIÓN DEL CONVERTIDOR DE PAR Y SU INFLUENCIA SOBRE EL DESEMPEÑO DEL VEHÍCULO E IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE VARIABLES PRINCIPALES DE OPERACIÓN PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Paúl Alejandro Montúfar Paz¹, Franklin Willian Tigse Ushiña², Nelson Ruverli Coronel Andrade³

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica,
Riobamba, Ecuador

paul.montufar@esPOCH.edu.ec, franwilltu@yahoo.es, nelsoncoronelandrade@hotmail.com

Abstract— The torque converter into the automatic drivetrain has been quite important as well as the hydraulic clutches due to the capacity of amplifying the torque highly accurate over 98% of low RPM, working as attachment of 1:1 in high RPM, to get a better efficiency and low gas intake for saving the environment. Because of its design and function, the torque converter engages and disengages automatically the power of the engine to the gear, focusing on the engine RPM. With the powertrain on, at an idling speed, the power is weak due to the lack of fluid torque; However when speeding up, the powertrain gets stronger through the torque converter job. This research aims on the torque converter features based on the main variables. The first one was a test on the dynamometer for finding the torque and power curve, and the second one, an intake test. This study was made at CCICEV in order to understand how the torque converter works in automatic vehicles. A didactic board was built for seeing the torque graphics, power and slippage of the converter in order to verify possible damage in advance. This research was pretty important for the Automotive Engineering students from the Mechanics Faculty..

Index Terms— AUTOMOTIVE ENGINEERING, AUTOMATIC GEARBOX, TORQUE CONVERTER, REVOLUTIONS PER MINUTE (RPM), DIDACTIC BOARD.

I. INTRODUCCION

En el proyecto de titulación presentado se abordará los principales conceptos, diagramas y análisis sobre la caracterización del convertidor de par de la transmisión automática a diferentes cargas del motor. En nuestra condición geográfica existe un ciclo de conducción particular, del cual es necesario realizar el estudio y análisis para determinar el comportamiento del convertidor de par realizando pruebas dinámicas para analizar si el convertidor es el idóneo para el tipo de motor de combustión interna en función al torque, potencia y consumo, debido a que es un componente que está sujeto a muchas mejoras.

Existen investigadores que han aportado diferentes estudios sobre el comportamiento del convertidor, muchos de estos estudios no garantizan resultados reales y exactos. Este elemento está diseñado en base al torque que necesita el

vehículo para vencer su propia inercia y a la condición de vía que va a ser sometido. Se espera que esta investigación permita una mejor aplicación en el área de la enseñanza en la Escuela de Ingeniería Automotriz.

II. DESARROLLO

1.1 Convertidor de par

Los accionamientos hidrocínicos implican la transferencia de energía a través de la "energía cinética" o la velocidad de un fluido. En tales dispositivos, un elemento impulsor crea la energía cinética del flujo y un elemento de turbina recupera la energía que produce una salida de par. Hay dos tipos principales de dispositivos hidrocínicos: acoplamiento de fluido y convertidor de fluido. Ambas familias proporcionan un ajuste automático de la relación (velocidad de entrada para una velocidad y carga de salida dada) y una capacidad de relación infinita que los hace muy apropiados como un "dispositivo de arranque".

El término convertidor de par se usa aquí para describir el acoplamiento de convertidor como el más frecuentemente usado en aplicaciones automotrices. Esto también se conoce como un convertidor de Trilok. Se llama así porque en una parte de su rango de funcionamiento da una multiplicación de par (que actúa como un convertidor) y en el resto se comporta como un acoplamiento con una relación de par 1: 1 (VAUGHAN, 2002).

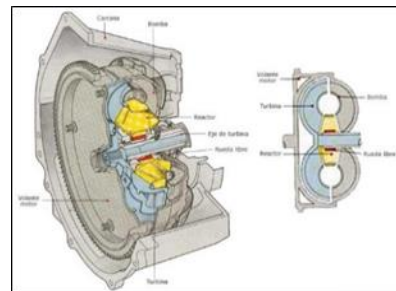


Figura 1 Esquema del convertidor de par

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/caja-cambios3.htm>

1.2 Funcionamiento del convertidor de par.

Al girar la bomba accionada directamente por el movimiento del cigüeñal, el aceite se impulsa desde la rueda de bomba hasta la rueda turbina. A la salida de ésta el aceite tropieza con los alabes del reactor que tienen una curvatura opuesta a los de las ruedas de bomba y turbina (Transpart, 2014).

Esta corriente de aceite empuja al reactor en un giro de sentido contrario al de la bomba y la turbina. Como el reactor no puede realizar ese giro ya que está retenido por la rueda libre, el aceite se frena y el empuje se transmite a través del aceite sobre la bomba. De esta forma mientras exista diferencia de velocidad de giro entre la bomba y la turbina el momento de giro (par) será mayor en la turbina que en la bomba. El par cedido por la turbina será pues la suma del transmitido por la bomba a través del aceite y del par adicional que se produce por reacción desde el reactor sobre la bomba y que a su vez es transmitido de nuevo sobre la turbina. Cuanto mayor sea la diferencia de giro entre turbina y bomba mayor será la diferencia de par entre la entrada y la salida del convertidor, llegando a ser a la salida hasta tres veces superior.

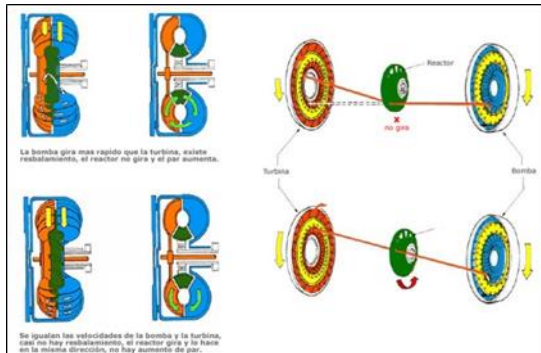


Figura 2: Funcionamiento del convertidor de par

Fuente: <http://www.transpart.com/7.html>

Conforme disminuye la diferencia de velocidad va disminuyendo la desviación de la corriente de aceite y por lo tanto el empuje adicional sobre la turbina con lo que la relación de par entre salida y entrada va disminuyendo progresivamente.

Cuando las velocidades de giro de turbina e impulsor se igualan, el reactor gira incluso en su mismo sentido sin producirse ningún empuje adicional de forma que la transmisión de par no se ve aumentada comportándose el convertidor como un embrague hidráulico convencional. A esta situación se le llama "punto de embrague". (ATSG, 2004)

El convertidor de par funciona en dos etapas. En la primera etapa el convertidor de par es capaz de multiplicar el par motor que recibe.

En la segunda etapa, a medida que se va subiendo las RPM, el convertidor de par reduce el factor multiplicador de par motor hasta quedar en una relación de 1:1, donde se transmite aproximadamente el 98 % del giro del motor, existiendo un 2 % que se pierde por resbalamiento.

1.3 Partes del convertidor de par

El convertidor de par consta de tres partes fundamentales que son:

- Impulsor o bomba
- Estator o reactor
- Turbina

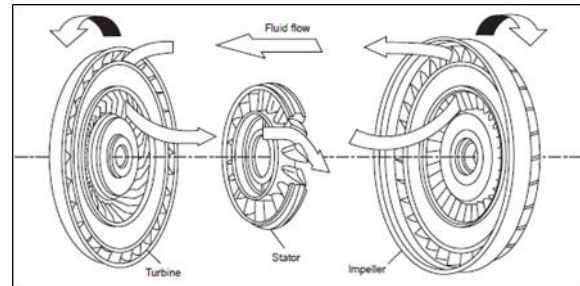


Figura 3: Partes del convertidor de par

Fuente: (VAUGHAN, 2002)

1.3.1 Impulsor.

Órgano a través del cual penetra la potencia en el convertidor de par. Corrientemente, el impulsor recibe el nombre de bomba, lo que técnicamente es exacto. No obstante, se recomienda utilizar el nombre de impulsor, para evitar la confusión con las bombas de presión y otros tipos de bombas.

1.3.2 Estator.

El convertidor de par incluye un elemento que mejora las condiciones de funcionamiento en la circulación del aceite, se trata del estator. Tiene como misión redirigir el aceite ocupado por la turbina y entregarlo al impulsor, cambia de dirección el flujo de aceite, esto permite aumentar el impulso del aceite. Dentro del estator se encuentra un cojinete de un solo sentido, lo que permite que este solo gire en un determinado sentido. El estator se usa para redirigir el flujo de la turbina de regreso hacia la parte de la bomba, para completar el flujo de aceite. Está montado sobre un mecanismo de rueda libre que le permite desplazarse libremente cuando los elementos del convertidor giran a una velocidad aproximadamente igual (VAUGHAN, 2002).

1.3.3 Turbina.

El elemento conducido se llama turbina, y va acoplada a la caja de cambios. La parte de la bomba del convertidor de par dirige aceite presurizado contra la turbina para hacerla girar. La turbina está conectada a una flecha, para transferirle potencia a la transmisión. Tiene como misión recibir el aceite enviado por el impulsor. La turbina gira en conjunto con el eje de salida ya que estos están unidos en un mismo eje.

1.4 Ventajas del convertidor de par

Las ventajas del convertidor de par son:

Variación continua en el par y la velocidad sin control externo

- Aislamiento de la vibración
- Absorción de la carga de choque
- Mantenimiento bajo
- Operación virtualmente libre del desgaste.

1.5 Mejora del rendimiento del convertidor de par

Para aumentar el rendimiento de funcionamiento, se construye interiormente al impulsor y a la turbina la llamada corona directriz partida. Esta sirve para suavizar y uniformizar el movimiento del líquido entre ambos miembros, impulsor y turbina, dado que en el centro del movimiento vertical se establece una turbulencia cuyo resultado es una pérdida de rendimiento.

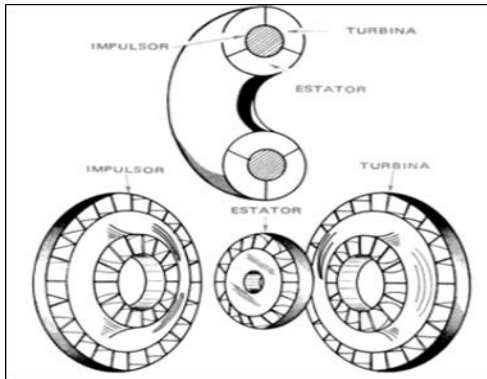


Figura 4 : Convertidor de par de tres elementos

Fuente: General motors

Otra característica constructiva es la configuración de los álabes del impulsor y de la turbina que se representa en figura. A los álabes del impulsor se les da una forma curvada hacia atrás para aumentar la aceleración y la energía del aceite que lo abandona.

1.6 Refrigeración del convertidor de par

Por el trabajo que realiza el convertidor de par se hace necesario disponer de algún medio de refrigerar el líquido para que este no se recaliente demasiado. Se utilizan dos sistemas de refrigeración: por aire y por agua.

En ambos tipos, el aceite de alimentación a baja presión procedente de la bomba delantera del cambio y del regulador de presión entra y sale continuamente del convertidor, regresando el caudal de salida al colector de aceite. En los sistemas de refrigeración por agua, utilizados en los motores de mayor potencia, simplemente se hace pasar el aceite por un depósito de refrigeración situado debajo del radiador de agua o junto a este.

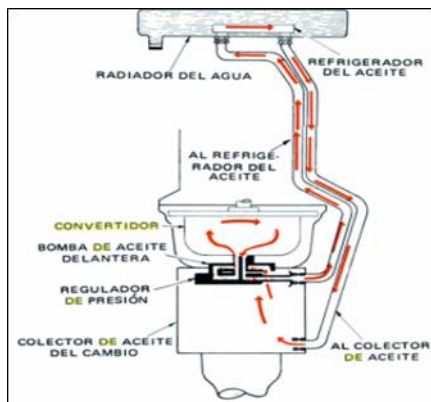


Figura 5: Refrigeración del convertidor de par

Fuente: Ford Motor Co.

1.7 Estrategia de control del convertidor de par.

El concepto, características y diseño de los tres componentes del sistema de un convertidor de par - el embrague de bloqueo, el amortiguador y el circuito hidráulico - son el resultado de la estrategia de control requerida para el embrague de bloqueo.

La estrategia de control es el enlace central de los elementos de hardware; lo que determina los requisitos para diferentes rangos de operación y, por lo tanto, el diseño de los componentes individuales. La estrategia de control de bloqueo apropiada se define individualmente para cada aplicación del vehículo considerando la funcionalidad del vehículo y los objetivos para la economía de combustible, el rendimiento, la conducción y la comodidad del conductor (MIDDELMANN, 2006). UNITS

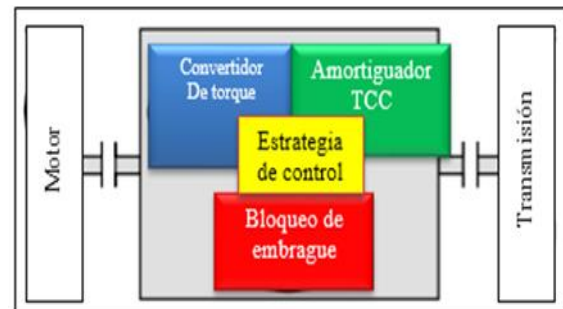


Figura 6: Sistema total de convertidor de par

Fuente: (MIDDELMANN, 2006)

1.8 Mejora de la eficiencia del convertidor de par

La mejora de la eficiencia de un convertidor de par se puede lograr mediante el cambio de la geometría de las aspas. Esto se puede comprobar mediante software de simulación de flujo de fluidos.

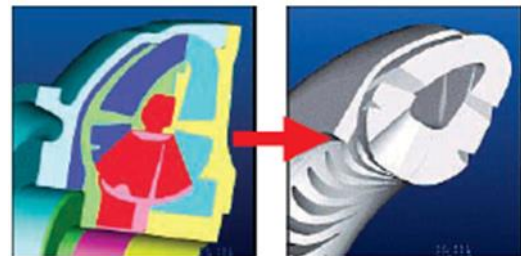


Figura 7: Modelación convertidor de par

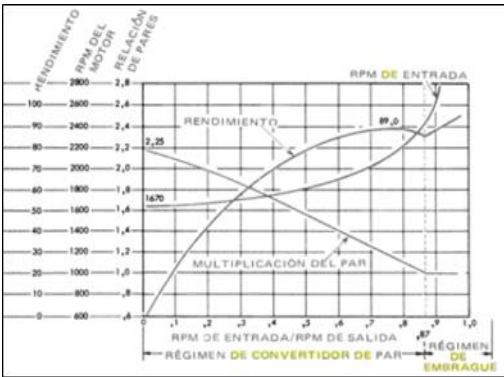
Fuente: (KOMATSU, 2004)

La longitud de la hoja ajustada, la posición de la curvatura de la hoja, ovalidad, etc., son otros factores que afectan en la eficiencia. (KOMATSU, 2004) SOME COMMON MISTAKES.

DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Curvas características del convertidor de par

El convertidor de par de Chrysler Corp. tiene la siguiente curva característica:



Gráfica 1: Curva característica del convertidor de par Chrysler
Fuente: Chrysler Corp.

2.2 Relación de velocidades

La relación o cociente de velocidades, es el número de vueltas que da la turbina por cada vuelta que da el impulsor. Es también una medida de rendimiento del embrague o del convertidor y se expresa en porcentaje. Por ejemplo, si el impulsor gira a 1000 rpm y la turbina a 900 rpm, la relación de velocidades es de 90%.

Relación de velocidad = rpm de la turbina / rpm del impulsor

En el preciso momento en que el automóvil comienza a moverse, hay un momento en que el impulsor está girando, pero la turbina no ha empezado a moverse: la relación de velocidades es cero. Mientras dura esta situación, los movimientos giratorio y vertical del líquido se encuentran en los estados siguientes:

- Como la turbina está quieta, el movimiento vertical se efectúa a través de la turbina sin resistencias, produciéndose una circulación transversal masiva entre los dos miembros

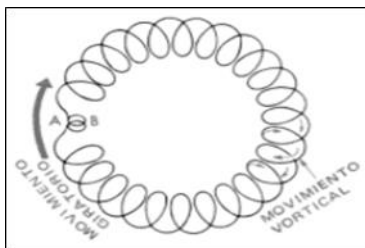


Figura 8: Relación de velocidades nula
Fuente: Ford Motor Co.

2.3 Capacidad de los convertidores

Cuando se habla de los convertidores es importante mencionar otra característica referente a su comportamiento. Todo mecanismo de transmisión de potencia por engranajes admite un par de cualquier valor hasta llegar su punto de resbalamiento; sin embargo, los convertidores admiten un par de valor máximo dado y no más. Por ejemplo, a medida que el acelerador se abre y el par motor comienza a elevarse, el motor puede aumentar de velocidad solo hasta el punto en que el par motor alcanza el par máximo admitido por el convertidor. Cuando este alcanza, las rpm del motor se estabilizan y el convertidor resbala. como velocidad de pérdida del convertidor (prueba de calado).

- La turbina inmóvil ofrece también resistencia al movimiento giratorio del líquido y el movimiento de este tampoco lo favorece.

El efecto de aceite que incide sobre la turbina está determinado por la intensidad relativa de ambos movimientos del aceite. En la figura 2-4 se representa el impacto y su resultado mediante un diagrama de vectores. En el mismo se representan ambos movimientos, giratorio y vortical, el hecho evidente de que en el momento del impacto no puede haber movimiento en dos direcciones a la vez. La dirección del aceite que resulte del impacto de ambos movimientos del líquido seguirá un determinado ángulo intermedio, resultante de las acciones giratorias y verticales, según determine la relación de velocidades o condiciones de marcha del vehículo.

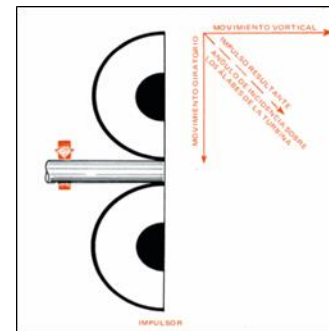
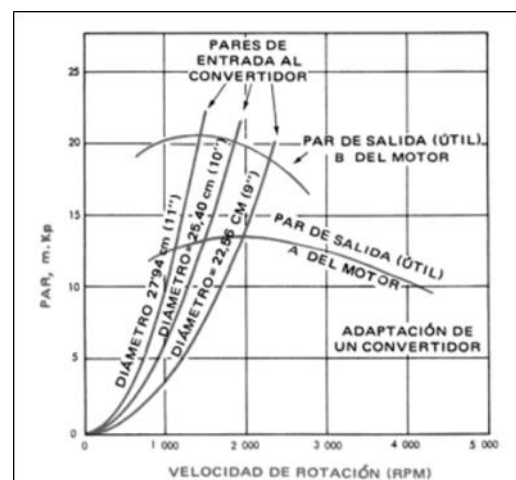


Figura 9: Movimiento giratorio y vortical
Fuente: Ford Motor Co.

Con esto, ha de resultar evidente que el convertidor desempeña el papel adicional de regular las rpm del motor y, en esencia, debe ser cuidadosamente diseñado para aprovechar el par útil cedido por el motor en las condiciones de rendimiento máximo (convertidor y motor deben formar un conjunto equilibrado).



Gráfica 2: Par vs velocidad de rotación
Fuente: Ford Motor Co.

Dicho de otra forma, el régimen del motor está regulado, en virtud de la constitución del convertidor, por la carga que impone el impulsor sobre el motor al tratar aquel de accionar la

turbina. Naturalmente, a medida que el vehículo cobra impulso y aumenta la velocidad de la turbina, disminuye el par motor necesario para accionar el impulsor y la velocidad del motor se eleva uniformemente.

Cuando en algún caso particular se utilice un convertidor demasiado pequeño, el motor funcionara a un régimen de revoluciones más elevado que el necesario antes de que el convertidor puede transmitir el par máximo. En aquellos casos en que se utilice un convertidor demasiado grande, el motor no poseerá capacidad para accionar al impulsor a una velocidad que permita a este funcionar a la máxima potencia. En ambos extremos resultan sendas situaciones indeseables, tanto por sobre revolucionado como por infra revolucionado. La práctica corriente es acoplar motor y convertidor a una velocidad de perdida tal que el motor sea capaz de alcanzar su par máximo.

De lo que precede resulta evidente que el técnico de servicio no debe alterar las condiciones del acoplamiento motor-convertidor calculadas por el fabricante.

2.4 Especificaciones del vehículo

El vehículo Daewoo Espero modelo 1995 cuenta con las siguientes especificaciones:

Tabla 1: Especificaciones técnicas Daewoo Espero

Marca	Daewoo
Modelo	Espero
Motor	2000 cc
Transmisión	Automática
Potencia máxima	105 CV / 5000 RPM
Par máximo	169 Nm / 2800 RPM
Año de fabricación	1995
Longitud	4615 mm
Ancho	1718 mm
Altura	1388 mm
Distancia entre ejes	2620 mm
Número de cilindros	4
Combustible	gasolina
Consumo de combustible urbano	12,3 l/100 km
Consumo de combustible extraurbano	5,8 l/100 km
Consumo de combustible combinado	7,3 l/100 km

Realizado por: Autores

Fuente: Ficha técnica Daewoo Espero

III. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para el experimento se toman en cuenta los siguientes parámetros:

3.1 Ecuación de la velocidad vs frecuencia

La ecuación utilizada para las RPM es la siguiente:

$$Y = 0,1787 x + 47,557 \quad \text{Eje Y= Frecuencia (F)}$$

$$F = 0,1787 \text{ RPM} + 47,557 \quad \text{Eje X= Revoluciones (RPM)}$$

La ecuación final es:

$$\text{RPM} = \frac{F-47,557}{0,1787}$$

3.2 Ecuaciones fundamentales

Para realizar los cálculos en Excel, se utilizó las siguientes fórmulas:

Para la Relación de velocidades

$$V = \frac{nt}{nb}$$

Donde:

nt= rpm de la turbina

nb= rpm de la bomba (par motor)

Para el rendimiento:

$$n = \frac{Pt}{Pb}$$

Donde:

Pt= Potencia de la turbina

Pb= Potencia de la bomba (potencia del motor)

Para el resbalamiento:

$$S = 100x(1 - V)$$

Donde:

V= relación de velocidades

Para la relación de par:

$$U = \frac{Mt}{Mb}$$

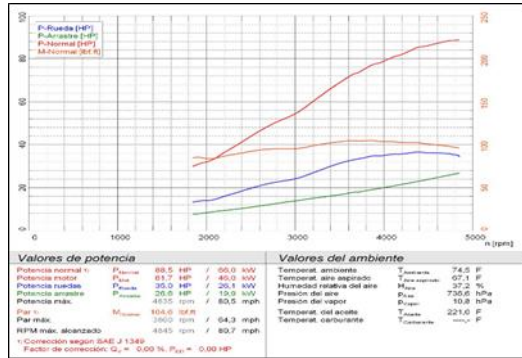
Mt= par de la turbina

Mb= par de la bomba

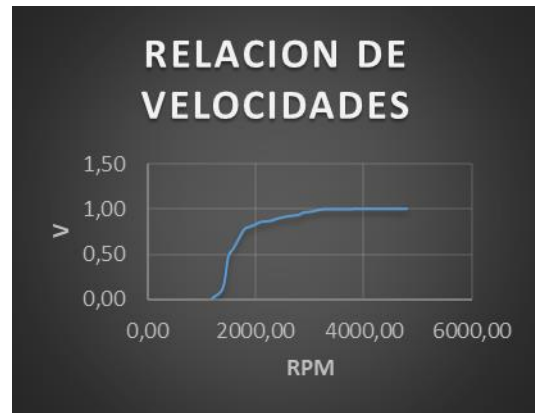
Para el rendimiento

$$n = u \times v$$

3.3 Graficas de torque y potencia hallados en CCICEV



Grafica3: Curva Potencia vs RPM
Fuente: CCICEV



Grafica 5: Relación de velocidades
Fuente: Autores

3.4 Consumo de combustible

Según la ficha técnica del vehículo Daewoo Espero, el consumo de combustible combinado es de 5.8 lt por cada 100 km.

Tabla 2: Ensayo de consumo

Tramos	Ciclo	Inicio (L)	Final (L)	Distancia (km)
□ A	IM 240	5	4,725	3,2
B	IM 240	5	4,73	3,2
C	IM 240	5	4,73	3,2
Rendimiento Tramo A (km/gal)		44,05		
Rendimiento Tramo B (km/gal)		44,86		
Rendimiento Tramo C (km/gal)		44,86		
Rendimiento Total (km/gal)		44,59		

Fuente: CCICEV

IV. RESULTADOS

4.1 Graficas de las curvas principales del convertidor de par del vehículo DAEWOO ESPERO.

A continuación se muestra la curva de resbalamiento del convertidor de par.

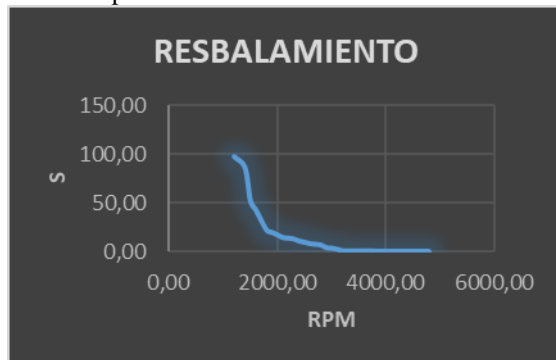
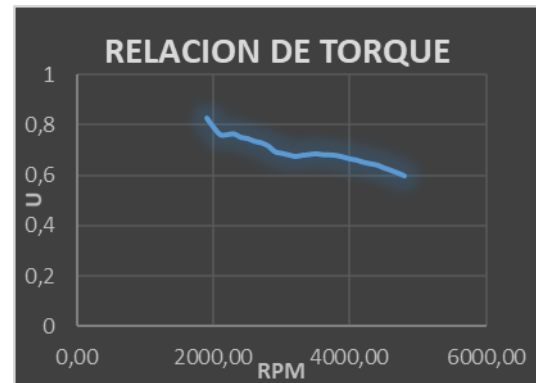


Grafico4: Resbalamiento
Fuente: Autores

En la figura se observa el máximo resbalamiento cuando el vehículo ha logrado vencer su inercia llegando a un valor del 98% a 1200 RPM, posteriormente el resbalamiento disminuye a medida que las RPM aumentan.



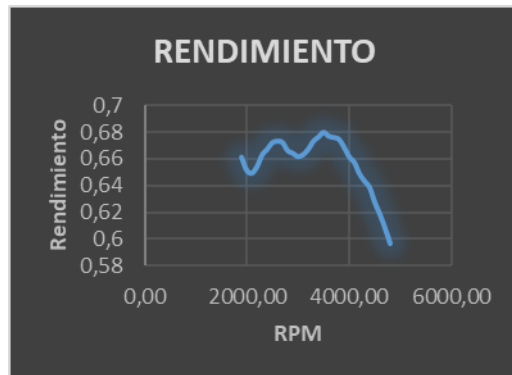
Grafica6: Relación de torque
Fuente: Autores

Se puede observar que el máximo torque del convertidor de par se da a bajas RPM, con un valor de relación de torque del 88% a 1800 RPM, existen pre-acoplamiento en función de la aceleración del conductor o en base a la geografía de la carretera.



Grafica 7: Potencia vs RPM
Fuente: Autores

En la siguiente figura se puede observar que a partir de la etapa de acoplamiento la potencia aumenta conforme las rpm del motor hacen, con valores máximos de potencia 27408,59017 watt a 4800 rpm.



Grafica8: Rendimiento

Fuente: Autores

En la siguiente figura se muestra que el máximo rendimiento se da antes de la etapa de acoplamiento entre el impulsor y la turbina con valores del 68% a 3500 RPM, observando también que existen picos debido al pre-acoplamiento del convertidor de par.

4.3 Consumo de combustible

Según la ficha técnica del vehículo Daewoo Espero, el consumo de combustible combinado es de 5.8 lt por cada 100 km.

El consumo obtenido en los ensayos es el siguiente:

$$\text{El consumo } E = 44.86 \frac{\text{km}}{\text{gal}}$$

$$\text{Dando como resultado un consumo de } E = 44.86 \frac{\text{km}}{\text{gal}} \times 1 \frac{\text{gal}}{3.78 \text{ lt}} = 12.12 \frac{\text{km}}{\text{lt}}$$

Realizando una regla de 3 con los datos obtenidos, se llega a tener un resultado de consumo $E = 8.25 \text{ lt}$ por cada 100 km. El resultado final nos da un consumo de 2,45 lt superior.

V. CONCLUSIONES

Se obtuvo las gráficas de torque normal y potencia normal del convertidor, con valores máximos de $T_n = 135,74 \text{ Nm}$ a 3545 RPM; $Pot.N = 88,5 \text{ Hp}$ a 4835 RPM, mediante el cual existe una pérdida por resbalamiento del convertidor de par.

Se determinó mediante los valores obtenidos en el banco dinamométrico, que el convertidor de par tiene un rendimiento del 63% a 1900 RPM, existiendo una pérdida del 35% por resbalamiento y tiene que ser sustituida.

Se obtuvo las curvas de torque - potencia en el motor y hacia las ruedas, a partir de ésta se calculó las curvas principales de funcionamiento del convertidor de par, cuyo máximo rendimiento es del 63% a 1900 RPM, con un resbalamiento máximo del 19,89% a 1900 RPM, un torque máximo de 66, 30 Nm a 1900 RPM y una potencia máxima de 38 Hp a 28340rpm.

Se verificó el consumo de combustible mediante un ensayo, el cuál arrojó un resultado de que existe un consumo de 1 litro por cada 12,12 Km, por lo tanto consume 8,25 litros por cada 100 km recorridos, dando un resultado mayor al estimado por el fabricante que declara en su ficha técnica un consumo de 5,8 litros por cada 100 Km recorridos, teniendo un desfase de 2,45 litros, que son ocasionados por la antigüedad del vehículo, y el resbalamiento que se produce en el convertidor de par.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNAL ATARES, Pedro V. Tractores y motores agrícolas. Madrid-España. Ediciones Mundi Prensa, 2000. pp. 2 – 4

ATSG. Automatic transmission service group. [En línea] Miami-USA, 2004 [Consultado el 10 de agosto de 2017.]. Disponible en: <https://www.atsg.us/atsg/>

GENERAL MOTORS, CORP. Manual de transmisiones automáticas. [En línea] [Consultado el 09 de septiembre de 2017.] Disponible en: [https://www.gm.com/.](https://www.gm.com/)

HARALD, Naunheimer. Automotive transmissions fundamentals, selection, design and application. Berlin-Alemania, 2010. pp 100-114

KOMATSU. Prediction of Torque Converter Characteristics KOMATSU. [En línea] Japón, 2004. Disponible en: https://home.komatsu/en/company/tech-innovation/report/pdf/154-02_E.pdf

MIDDELMANN, Volker. Torque converter as a system. [En línea] 2006. [Consultado el 25 de septiembre de 2017.] Disponible en: <http://www.waghornswood.net.nz/Manuals/Vehicles/Allison Automatic/6 torque converter 1.pdf>

ORTIZ, Jaime Cañavate. Las máquinas agrícolas y su aplicación. 2003. [Consultado el 29 de septiembre de 2017.] ISBN: 8484761177.

Robinette. Torque Converter Clutch Optimization: Improving Fuel Economy and Reducing Noise and Vibration. 2011. [Consultado el 20 de octubre de 2017.].

VAUGHAN, Nick. Transmission and driveline - An Introduction to modern vehicle design . Oxford, 2002. Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 2002. ISBN 07506 5044 3. pp 260-280